

[http://asiapacificpartnership.org/pdf/Projects/Steel/SOACT-Handbook-2nd-Edition...\(link is external\)](http://asiapacificpartnership.org/pdf/Projects/Steel/SOACT-Handbook-2nd-Edition...(link is external))

3. Global Warming Countermeasures: Japanese Technologies for Energy Savings. New Energy and Industrial Technology Development Organization. 2008. <http://ietd.iipnetwork.org/sites/ietp/files/Japanese%20Technologies%20for%20Ener...>

УДК 669.187.242

Е. Д. Солнцева, А. Н. Лошкарев

ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», г. Екатеринбург, Россия

КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ГОРЕНИЯ ГАЗООБРАЗНОГО ТОПЛИВА В ГОРЕЛКЕ ГРС-150

Аннотация

В работе представлены характеристики, конструкция и принцип работы рекуперативной скоростной горелки ГРС-150, а также компьютерное моделирование процесса горения с использованием программного комплекса ANSYS. Моделирование проводилось поэтапно с помощью модуля ANSYS CFX. Результаты работы представлены в виде изображений температурных полей и полей распределения концентраций компонентов горения.

Ключевые слова: рекуперативная горелка, горение, топливо, компьютерное моделирование, температурные поля, поля распределения концентраций.

Abstract

The paper presents the characteristics, design and operation principle of the recuperative high-speed burner GRS-150, as well as computer simulation of the combustion process using the ANSYS software. Simulation was carried out in stages using the ANSYS CFX module. The results of the work are presented in the form of images of temperature fields and fields of distribution of concentrations of combustion components.

Keywords: recuperative burner, combustion, fuel, computer simulation, temperature fields, concentration distribution fields.

При анализе тепловой работы различных печей выявлено, что наибольшей статьей расходной части теплового баланса являются потери теплоты с уходящими газами.

Теплопотери в некоторых случаях составляют до 70 %, и лишь сравнительно небольшая часть тепла может быть полезно использована.

Для того, чтобы максимально эффективно использовать тепло уходящих газов, применяют теплообменные аппараты: рекуператоры и регенераторы. Эти устройства подогревают воздух, идущий на горение, за счет тепла, уходящего из печи, благодаря чему происходит экономия топлива.

В рекуператорах передача тепла осуществляется от одного теплоносителя к другому через стенку, в регенераторах специальная огнеупорная насадка сначала аккумулирует тепло от одного теплоносителя, а затем передает его второму теплоносителю.

Однако, более выгодным считается использование рекуперативных горелок, во-первых, потому что они находятся вблизи агрегата и не происходит потерь тепла при транспортировке горячих газов по трубопроводу, а во-вторых это позволяет: снизить удельный расход топлива до 60 %; обеспечить глубокую утилизацию теплоты; подогревать воздух до высоких температур порядка 700–800 °С; уменьшить текущие затраты при эксплуатации печи; сократить затраты на строительство печи, что обусловлено отсутствием необходимости рекуператора.

Газовая горелка рекуперативная скоростная ГРС–150 предназначена для сжигания природного газа в нагревательных и термических печах, обеспечивая глубокую утилизацию теплоты дымовых газов для подогрева воздуха на горение.

Таблица 1

Технические характеристики горелки ГРС-150

Показатель	Единица изм.	Величина
Топливо	Природный газ	
Теплота сгорания	МДж/м ³	34–37
Давление газа номинальное	кПа	не более 8,0
Расход газа номинальный	м ³ /ч	15
Тепловая мощность, номинальная	кВт	150
Максимальная температура в печи	°С	1000
Расход воздуха на горение	м ³ /ч	150
Температура подогрева воздуха при температуре в печи 1000 °С	°С	700–800

Горелка (рис. 1) состоит из коллектора, с патрубками подвода воздуха 1 и отвода продуктов сгорания 2, трубчатого теплообменника 3, коллектора подвода газа 4, газового сопла 5, керамической камеры сгорания 6.

Горелка работает следующим образом: газ истекает из сопла в камеру горения, где смешивается с частью воздуха, подогретого в теплообменнике до высокой температуры и сгорает частично в камере сгорания. Остальной воздух подается через кольцевой зазор между соплом камеры сгорания и торцевой стенкой горелки и, смешиваясь с продуктами неполного горения, дожигает топливо в рабочем пространстве печи.

Продукты сгорания удаляются из внутреннего пространства печи через рекуператор горелки, за счет эжекции холодным воздухом в эжекторе, входящем в комплект горелки.

Розжиг осуществляется электрической свечой зажигания, контроль факела – ионизационным датчиком через блок управления, который обеспечивает эксплуатацию горелки в полуавтоматическом или автоматическом режиме.

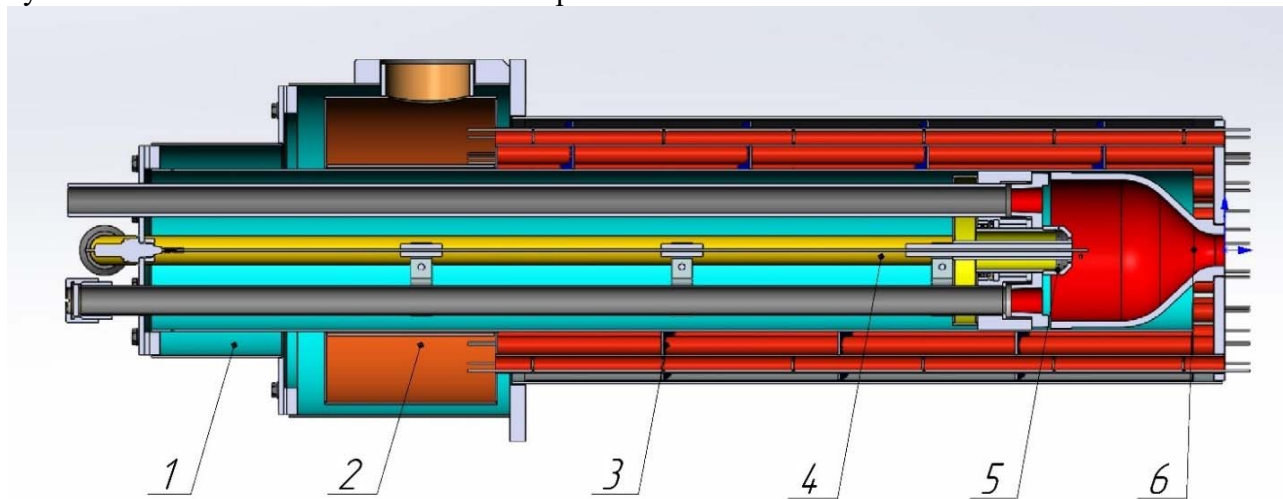


Рис. 1. Скоростная рекуперативная горелка ГРС–150:

- 1 – патрубок подвода воздуха; 2 – патрубок для отвода продуктов сгорания;
 3 – трубчатый теплообменник; 4 – коллектор подвода газа; 5 – газовое сопло;
 6 – керамическая камера сгорания

Многие задачи, с которыми приходится сталкиваться инженерам, не поддаются аналитическому решению либо требуют огромных затрат на экспериментальную реализацию. Чаще всего единственной возможностью для быстрого анализа инженерной проблемы является компьютерное математическое моделирование. Прогресс в разработке численных методов

позволяет существенно расширить круг задач, доступных анализу. Полученные на основе этих методов результаты используются практически во всех областях науки и техники.

Ввиду сложности поставленной задачи необходимо разбить ее на две части: моделирование процесса горения и моделирование процесса теплообмена.

Для определения основных показателей работы рекуперативной скоростной горелки ГРС-150, а именно температуры продуктов сгорания, распределения температур в факеле, распределение концентраций компонентов горения, было проведено компьютерное моделирование процесса горения с использованием программного комплекса ANSYS.

ANSYS является универсальной программной системой конечно-элементного анализа, предназначенной для автоматизированных инженерных расчётов и решения различных задач.

Модуль ANSYS CFX позволяет выполнять глубокий анализ гидрогазодинамики во многих типах изделий и процессов, что дает возможность не только снизить необходимость дорогостоящих прототипов, но и получить исчерпывающие данные, которые не всегда доступны при проведении экспериментальных исследований. Моделирование жидкости и газов может также служить дополнением к физическому эксперименту [1].

При работе с модулем CFX компьютерное моделирование проходит в несколько этапов. Первый этап – построение 3D модели. Основной целью является создание адекватной конечно-элементной модели, состоящей из узлов и элементов, а также ее последующая подготовка к моделированию. Для создания геометрии используются CAD – системы. В ANSYS возможно создание геометрии как с нуля, так и импорт из сторонних CAD – систем с последующим редактированием. В данном случае для создания геометрии была использована программа SOLIDWORKS.

Разработка геометрической модели начинается с создания начальной геометрии, которая затем преобразуется в окончательную геометрическую модель с помощью функций геометрического процессора. Все действия, выполненные в ходе создания геометрии отображаются в дереве построений. В большинстве случаев основной геометрической моделью служит двумерный эскиз, который с помощью специальных операций преобразуется в 3D геометрический объект. Готовая геометрическая модель импортируется в *Design Modeler* с помощью команды *Import External Geometry File*.

Построение пространственной расчетной сетки – один из важнейших этапов в решении задач сплошной среды методами конечных объёмов и конечных элементов. Качественная расчетная сетка в большинстве случаев является одним из ключевых аспектов получения достоверных результатов численного решения. Для создания сетки использовался универсальный сеточный генератор ANSYS Meshing, позволяющий строить сетки на основе гекса-, тетра- и призматических элементов. Работа в ANSYS Meshing начинается с того, что с помощью команды *Create Named Selection* задаются сечения и поверхности, которые в дальнейшем будут использоваться для задания граничных условий. Затем, установив в настройках все необходимые параметры сетки, с помощью команды *Generate Mesh* создается сетка.

Следующим этапом будет работа с компонентом системы Setup (предобработка в «CFX-Pre»). Здесь реализуется процесс определения физики задачи, то есть будут определяться физические модели, на основе которых будет происходить симуляция процесса, а также их характеристики, основные параметры, начальные и граничные условия процесса (входные, выходные параметры), модели теплообмена.

Работа начинается с того, что физический препроцессор импортирует сетку, созданную на предыдущем шаге. Далее генерируются реакции с помощью инструмента «CFX-RIF». Для того, чтобы добавить компоненты топлива и окислителя выбирается механизм «C1-C4» (природный газ), во вкладке *Boundary Conditions* необходимо указать массовые доли входящих в состав газов и начальные условия, то есть температуры топлива и окислителя (300 K) и давление (1 атм.). Во вкладку *Material* будут добавлены все компоненты, полученные при сгорании природного газа. Затем создается материал с типом «Reaction Mixture».

Массовые доли компонентов

Топливо						Окислитель	
CH ₄	C ₂ H ₆	C ₃ H ₈	CO ₂	N ₂	H ₂ O	O ₂	N ₂
0,97664	0,00981	0,00178	0,00583	0,00118	0,00476	0,233	0,767

В разделе «Default Domain» в поле *Location* выбирается расчетная область, для которой задается тип – «Fluid Domain» (жидкость), в списке жидких сред выбирается созданный нами материал. Во вкладке *Mixture Properties* выбирается модель теплопереноса «Total Energy», модель турбулентности «k-Epsilon», модель горения «PDF Flamelet», модель излучения «P1». k-Epsilon модель является наиболее распространенной двухпараметрической моделью турбулентности, здесь решаются два дополнительных уравнения для расчета кинетической энергии турбулентности k и скорости ее диссипации в тепло ϵ или удельной скорости диссипации $\omega = \epsilon/k$. По этим параметрам вычисляется турбулентная (вихревая) вязкость, которая затем добавляется в уравнение движения [1]. «PDF Flamelet» – модель, используемая для описания моделирования диффузионного горения с турбулентным течением при использовании встроенных библиотек. «P1» учитывает рассеивание, теплообмен между газом и частицами.

Далее задаются граничные условия. В области стока жидкости задается тип граничных условий – «Inlet», в области истока – «Outlet». В качестве параметров были введены значения скоростей газа и воздуха на входе в горелку, полученные в ходе эксперимента на испытательном стенде: 8.2 м/с и 15.2 м/с соответственно.

Следующий этап – запуск решения. В «CFX-Solver» происходит отыскание таких значений параметров в каждой из ячеек, при которых расчетная зона будет иметь наиболее правильные уравнения потоков.

После компьютерного расчета были получены результаты, представленные на рис. 2–5.

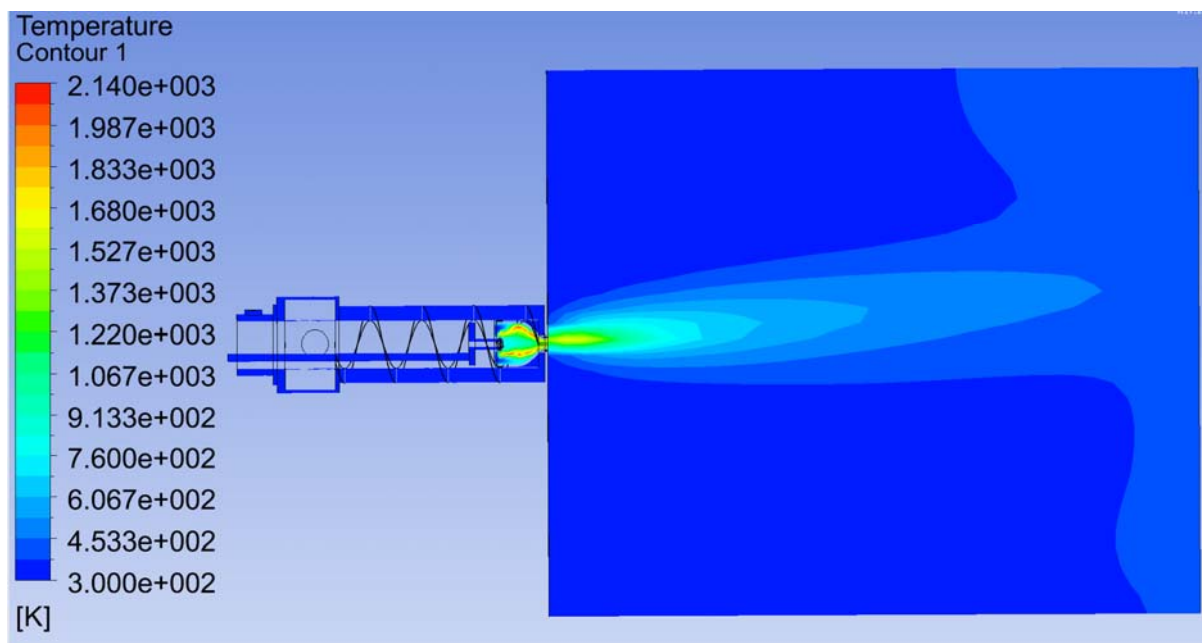


Рис. 2. Температурное поле

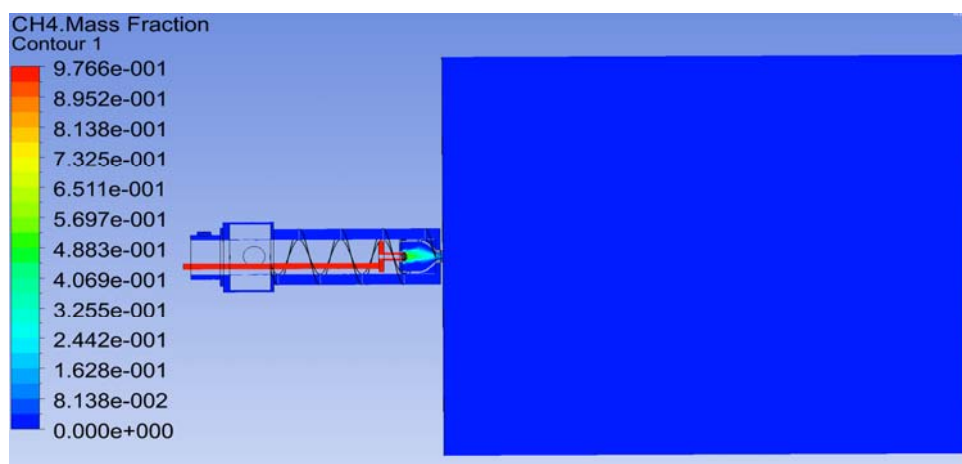


Рис. 3. Массовая доля CH_4

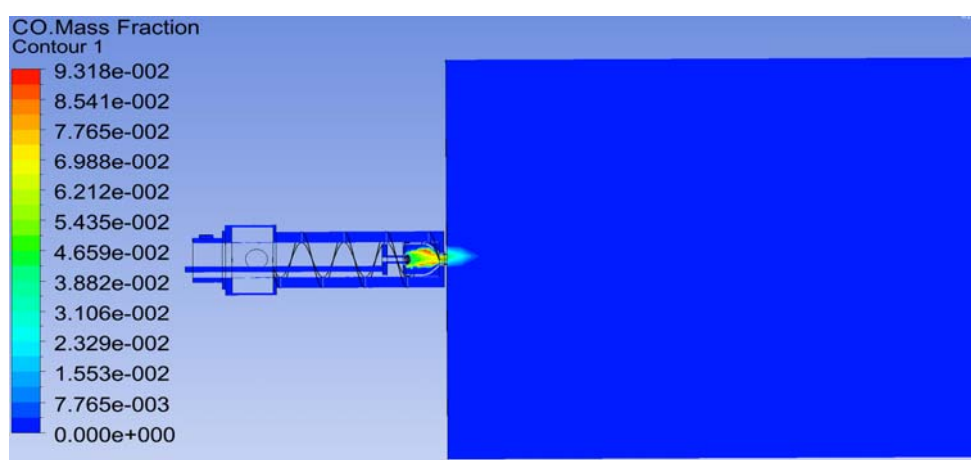


Рис. 4. Массовая доля CO

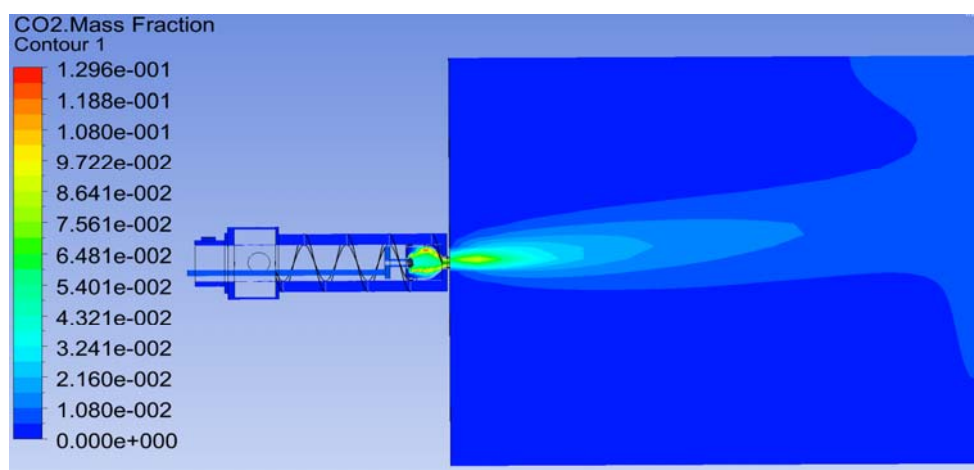


Рис. 5. Массовая доля CO_2

Список использованных источников

1. Федорова Н.Н., Вальгер С.А., Данилов М.Н., Захарова Ю.В. Основы работы в ANSYS 17. – М.: ДМК Пресс, 2017. – 210 с.
2. Руководство по эксплуатации горелки ГРС-150. – Екатеринбург: ООО Научно-производственная фирма «горелочный центр».